プリント配線板用絶縁材料の空間電荷挙動に対する湿度と温度の影響

越後 易恒*, 田中 秀郷*, 福永 香**, 岡本 健次***, 前野 恭**, 大木 義路*

Effects of Humidity and Temperature on Space Charge Distribution Profiles in Printed Circuit Board Insulations

Yasutsune ECHIGO*, Hidesato TANAKA*, Kaori FUKUNAGA**, Kenji OKAMOTO***,
Takashi MAENO** and Yoshimichi OHKI*

* 早稲田大学大学院理工学研究科電気・情報生命専攻 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

** 独立行政法人情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町4-2-1)

*** 富士電機アドバンステクノロジー株式会社 (〒191-8502 東京都日野市富士町1)

*Department of Electrical Engineering and Bioscience, School of Science and Engineering, Waseda University (3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8555)

**National Institute of Information and Communications Technology (4-2-1 Nukui-kitamachi, Koganei-shi, Tokyo 184-8795)

***Fuji Electric Advanced Technology (1 Fujimachi, Hino-shi, Tokyo 191-8502)

Abstract

The properties of bulk insulation in printed circuit boards (PCBs) have become even more important, especially for those with a multilayered or embedded structure. In particular, the spatial distribution of internal charge carriers, mainly due to ionic impurities, is thought to affect the reliability of bulk insulation. Therefore, the effects of humidity and temperature on space charge distribution profiles in a five-layered composite of aramid paper and epoxy resin are studied in this paper. More charge carriers are induced at higher temperatures with humidity. A relative humidity of 55% is high enough to induce a saturated amount of charge carriers in the present samples at 40°C.

Key Words: Printed Circuit Board, Space Charge, Pulsed Electroacoustic Method, Aramid Epoxy Composite

1. はじめに

近年、通信機器などの電子機器の小型化に対応するために搭載する部品の小型化、高密度化が求められている。それに伴い、プリント配線板(PCB)においても層状構造をなすビルトアップ基板や、受動素子などがもともと絶縁層内に組み込まれ層状構造をなす部品内蔵基板の研究・開発が盛んになってきている¹⁾。これらのPCBでは、基板表面方向だけでなく基板内部厚さ方向の絶縁性能も重要になると考えられる。PCB内部の電界分布に直接影響を及ぼす空間電荷は、主としてイオン性不純物に起因して生じるため、高温や高温環境下で多く現れると考えられている^{2)~4)}。しかし、吸湿とPCB内部の電荷挙動の関係についてはあまり研究されていない。そこで、本報告では、アラミド紙/エポキシ樹脂PCB用絶縁体を試料として吸湿と温度が内部の空間電荷挙動に与える影響を調べた。

2. パルス静電応力(PEA)法の紹介と用いた装置

1980年代に開発されたパルス静電応力(PEA)法は、国内外の空間電荷に携わる研究者・技術者に最も広く普及している空間電荷分布測定技術であり、Fig. 1に示すように、パルス電圧を印加することにより、電荷に生じたクーロン

力にもとづく圧力波を圧電素子で受け電気信号に変換することにより、電荷分布を測定する手法である^{5),6)}。すなわち、Fig. 1のように、試料内部に面密度 σ_2 の電荷が存在し、両側の電極が接地されており、電極に面密度 σ_1 , σ_3 の電荷が誘起されているとする。ここでパルス電圧を印加すると電荷 σ_1 , σ_2 , σ_3 にクーロン力が働き、圧力波 p_1 , p_2 , p_3 が発生する。発生した圧力波は試料と電極を伝搬して圧電

Fig. 1 Principle of the PEA method

素子に到達し電気信号を生じる。この電気信号が生じるまでの時間は、圧力波伝搬距離と、試料および電極での音速の関数となり、信号強度は電荷量に比例するので、電荷の位置および電荷量を定量的に求めることができる。

Fig. 2に構造を示す通常のPEA装置の寸法は、 $250 \times 200 \times 135 \text{ mm}^3$ であるのに対し、Fig. 3の開放型ミニPEA装置⁷⁾は $100 \times 60 \times 30 \text{ mm}^3$ と小さい。温湿度定常試験では、試験槽を構成する各側面から相対する側面までの距離の1/6を除く空間を有効空間と定義している⁸⁾ので、通常のPEA装置より小さい開放型ミニPEA装置は本実験に適している。一方、通常のPEA装置では、厚みのある接地電極と電圧印加電極との間に試料が直接挟まれているのに対し、本PEA装置では、Fig. 3に示すように、試料加圧成型時に試料表面に圧着した銅箔を電極としている⁷⁾。このため、本装置では、電極で覆われている以外の試料上面は空気にさらされており、試料を吸湿させるのに適している。

Fig. 2 Schematic diagram of the conventional PEA setup

Fig. 3 Schematic diagram of the developed open-type mini PEA setup

Fig. 4 Change in sample weight during 100 hours of dc electric field application as a function of relative humidity and temperature

3. 実験方法

試料は、アラミド不織布とエポキシ樹脂の複合材料である汎用PCB用絶縁体であり、プリプレグ5層で成型した。比誘電率 ϵ_r' は1MHzで4.0、試料片の形状は $55 \times 50 \times 0.57 \text{ mm}^3$ である。

この試料を2枚用意し、1枚のみをPEA装置に設置した上で、あらかじめ温度40°C、湿度20%、55%、90%に設定された恒温恒湿槽内に入れる。その後、約30分経過し、槽内が設定温湿度に戻った後に直流電界を所定の時間印加し、空間電荷挙動を測定した。印加電界は、最近のパワーエレクトロニクス用基板材料が高電界で試験される傾向に準じて、3kV/mmとした。その後、PEA装置に設置していなかった試料を恒温恒湿槽より取り出し、電子天秤で質量増加率を測定した。その後、試料を恒温恒湿槽に戻し、設定温湿度に回復するのを待って、次の測定に移るという手順で、100時間にわたり測定を行った。つぎに、湿度を55%と一定にした上で、温度を20°Cまたは60°Cに設定し、同様に空間電荷挙動と質量増加率を測定した。

4. 実験結果

Fig. 4に試料の直流電界印加開始から100時間までの質量増加率を示す。Fig. 4(a)より、温度40°Cにおいて、湿度20%では質量増加は確認されないが、湿度55%および湿度90%では時間とともに質量が増加し、100時間後の増加率は湿度90%では湿度55%時のおよそ2倍となる。またFig. 4(b)より、湿度55%一定の下では、温度が20°Cの時より40°C、40°Cより60°Cにおいて、吸湿の速度が速いことがわかる。

40°C等温下で直流電界を印加した時点および100時間経過後の空間電荷分布をFig. 5(a)に、電界分布をFig. 5(b)に示す。同図より、われわれの開発したPEA装置を用いることにより、直流電界印加時間に伴い試料内部に電荷が蓄積する様子、すなわち試料内部の4箇所では正負の電荷が対になっており、これらの電荷により内部の電界が歪んでいることがわかる。既報³⁾に述べたように、正負電荷のピー

ク位置は、アラミド紙／エポキシ樹脂の界面と一致している。すなわち、何らかの電荷が紙／樹脂界面に蓄積したと考えられる。

上述の電荷についての情報を得ることを目的として、試料を40℃と85℃の温水に48時間漬けた後に、その水をイオンクロマトグラフィーにより分析した³⁾。その結果、40℃浸漬した水から試料の単位表面積当たり、数十ng/cm²のCa²⁺やCl⁻が検出され、85℃の水からは数十ng/cm²のCa²⁺、Cl⁻、K⁺と数百ng/cm²のNH₄⁺が検出された³⁾。この結果は、試料中にイオンとなりうる物質が存在していることを示している。すなわち、これらのイオンが試料内部に蓄積した電荷の原因である可能性が考えられる。

つぎに、温度40℃、湿度20%、55%および90%の下で、陰極に最近接して観測される電荷密度の直流電界印加時間に伴う時間変化をFig. 6に示す。湿度が55%および90%の場合には、20%時に比べて、蓄積電荷量が多い。Fig. 4(a)より吸湿しないと考えられる温度40℃湿度20%では、もともとイオン化していた不純物などが電界により移動し紙／樹脂界面に蓄積するのみであるが、湿度55%および90%のときは吸湿によってイオン化が助長された不純物も蓄積すると考えられる。

さらに、湿度55%一定、温度20℃、40℃および60℃の各条件における直流電界を印加した時点および100時間経

過後の空間電荷分布をFig. 7(a)に、電界分布をFig. 7(b)に示す。Fig. 5と同様に試料内部の4箇所電荷の蓄積が観測される。

また、陰極に最近接したアラミド紙／エポキシ樹脂界面の電荷密度の時間変化をFig. 8に示す。20℃より40℃で、さらに40℃より60℃でわずかながら電荷の蓄積速度が速い。Fig. 4(b)と比較して、温度が高い方が吸水速度が速く、それに伴い電荷蓄積速度も速くなったと考えられる。またFig. 6, Fig. 8より、温度40℃湿度55%は、電圧印加後10時間程度で試料内のイオン濃度をほぼ飽和させることのできる条件であると考えられる。

Fig. 6 Charge density in the nearest layer to the cathode as a function of the duration of voltage application at a constant temperature of 40℃

Fig. 5 Distributions of charge density and electric field as a function of humidity and duration of voltage application, observed at a constant temperature of 40℃

Fig. 7 Distributions of charge density and electric field as a function of temperature and duration of voltage application, observed at a constant humidity of 55%

Fig. 8 Charge density in the nearest layer to the cathode as a function of the duration of voltage application at a constant humidity of 55%

5. おわりに

プリント配線板用絶縁材料であるアラミド紙／エポキシ樹脂内部の空間電荷挙動に与える湿度と温度の影響を測定した。その結果、次のことを明らかにした。

- (1) 紙／樹脂界面に電荷が蓄積し、試料内の電界が歪変する。
- (2) 湿度 55% では、温度の上昇 (20°C→40°C→60°C) に伴い、吸湿速度も、電荷蓄積速度も速くなる。
- (3) 温度 40°C 湿度 55% は電界印加後約 10 時間程度で試料内のイオン濃度を飽和させる条件であると思われる。

今後は、紙／樹脂界面に電荷が蓄積する原因を明らかにするために、より多様な湿度および温度の条件下での測定を検討していく予定である。

(2006.9.11・受理)

文 献

- 1) 津久井 勤：“部品内蔵基板の信頼性評価のあり方”，表面技術, Vol. **55**, No. 12, pp. 83–88, 2004
- 2) 飯塚孝志, 吉本和夫, 高井裕司, 福永 香, 前野 恭：“エポキシ樹脂中の空間電荷分布の観測”，電学論 A, Vol. **118-A**, No. 2, pp. 129–134, 1998
- 3) 田中秀郷, 福永 香, 前野 恭, 岡本健次, 大木義路：“プリント基板用絶縁材料の空間電荷挙動に対する水処理温度の影響”，電学論 A, Vol. **126-A**, No. 7, pp. 709–715, 2006
- 4) K. Okamoto, K. Fukunaga and T. Maeno: “Space Charge Measurement of PCB Insulations at Various Temperatures”, IEEE International Conference on Solid Dielectrics 2004, Vol. **1**, pp. 174–177, 2004
- 5) T. Maeno, T. Futami, H. Kushibe, T. Takada and C. M. Cooke: “Measurement of Spatial Charge Distribution in Thick Dielectrics Using the Pulsed Electroacoustic Method”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. **23**, No. 3, pp. 433–439, 1988
- 6) R. J. Fleming: “Space Charge Profile Measurement Techniques: Recent Advances and Future Directions”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. **12**, No. 5, pp. 967–978, 2005
- 7) T. Maeno and K. Fukunaga: “Open-PEA System for Space Charge Measurement in Dielectrics under Irradiation”, IEEE International Conference on Solid Dielectrics 2004, Vol. **2**, pp. 944–946, 2004
- 8) エレクトロニクス実装学会 イオンマイグレーション試験法研究会：“イオンマイグレーション評価方法”，エレクトロニクス実装学会, pp. 13–14, 2005